

Mika Kivelä

Lämmityselementin käyttö seinärakenteessa

Opinnäytetyö

Syksy 2015

SeAMK Tekniikka

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Tekijä: Mika Kivelä

Työn nimi: Lämmityselementin käyttö seinärakenteessa

Ohjaaja: Petri Koistinen

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 29

Liitteiden lukumäärä: 6

Energiatehokkuuden parantaminen kasvattaa rakennettavien talojen eristevahvuuksia, jolloin rakenteen sisäisiin eristekerroksiin kohdistuu suurempia lämpötilavaihteluja.

Tässä työssä tutkittiin teoreettisesti seinärakenteessa tapahtuvaa lämmönsiirtymistä ja kosteusrasituksia Wufi – ohjelmiston ja teoreettisten laskelmien avulla. Tällä haluttiin kokeilla teoreettisten mallien toimivuutta käytännössä.

Teoreettisten laskentamallien testaamiseksi rakennettiin SeAMK:n laboratoriossa testiseinä. Testiseinä asennettiin kylmäkaappia vasten, jotta pystyttiin seuraamaan lämpötilan muutoksia eristekerroksissa eri lämpötiloissa.

Testiseinän kokonaisvahvuudeksi tuli 438 mm. Tällä vahvuudella, 50 asteen lämpötila erolla, pitäisi laskennallisesti rakenteessa tapahtua sisäistä konvektiota. Rayleigh- luvun raja-arvo 2,5 ylittyy huomattavasti ollessaan 5,46.

Testiseinän toinen puoli, tavanomainen yleisesti käytössä oleva seinärakenne toimi verrokkina, toiselle puolelle oli tavanomaiseen seinärakenteeseen asennettu lattialämmityskaapeli keskelle eristekerrosta. Termostaatti asetettiin ylläpitämään testiseinän keskellä +10 asteen lämpötilaa. Tällä haluttiin tutkia, mitä vaikutuksia eristekerroksen lämmittämällä on rakenteeseen.

Laboratoriossa suoritetuissa mittauksissa todettiin lämmityselementin parantavan seinärakenteen sisäisiä lämpötiloja, mutta sisäisen konvektion vaikutusta ei havaittu. Kosteuspitoisuudet jäivät mittaamatta laitteisto vian vuoksi.

Avainsanat: lämmityselementti, passiivienergia talo, matalaenergia talo, sisäinen konvektio

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Site Management

Author: Mika Kivelä

Title of thesis: Heating element inside of a wall

Supervisor: Petri Koistinen

Year: 2015

Number of pages: 29

Number of appendices: 6

Increasing energy efficiency increases the amount of thermal insulation in buildings, which increases temperature variations inside the thermal insulation layers.

Theoretical models on how thermal transmission and moisture affects wall structure were studied with the help of Wufi –software and theoretical calculations. With this the aim was to test how theoretical models compare in practice.

In SeAMK laboratory to test theoretical calculations a test wall was built which was inserted against a weather cabinet, so thermal transition inside thermal insulation layers in different temperatures was observed.

The thickness of the test wall was 438 mm. Based on the calculations with this thickness in 50 degrees temperature difference happens inner convection. Rayleigh threshold value 2,5 is passed significantly, with this thickness it is 5,46.

One side of the wall was control and on the other side a heating cable was installed in the middle of the wall. The thermostat was set to maintain the temperature of +10 degrees. With this the object was to study what effects there would be by heating the insulation layer inside the wall.

The measurements performed in the laboratory showed that a heating element increased the temperature inside the wall in every layer, but the effects of inner convection were not observed. Regretfully, moisture values in different material layers were not measured because of faulty equipment.

Keywords: heating element, passive house, convection, zero energy building

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja määritelmät	6
1 JOHDANTO	7
2 YLEISTÄ SEINÄRAKENTEESTA	8
2.1 Seinärakenteeseen vaikuttavia fysikaalisia osatekijöitä	8
2.1.1 Kosteus	8
2.1.2 Tiivistyminen	9
2.1.3 Hygroskooppinen tasapainokosteus	9
2.1.4 Mikrobin kasvu	9
2.1.5 Kuivuminen	9
2.2 Lämpö	10
2.2.1 Lattialämmityskaapeli.....	10
3 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS.....	11
3.1 Teoreettiset laskelmat	11
3.2 Testiseinän rakentaminen	14
3.3 Kokeen päättäminen ja seinän purkaminen	18
4 TULOKSET	20
5 POHDINTA	29
6 LÄHTEET.....	30
7 LIITTEET	31

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Lämpötilojen muutokset suhteessa rakenteen paksuuteen.....	13
Kuvio 2. Testiseinän mitat ja antureiden sijainti rakenteessa.....	14
Kuvio 3. Mittaustulokset 0 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin.....	21
Kuvio 4. Mittaustulokset -5 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin	22
Kuvio 5. Mittaustulokset -10 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin	23
Kuvio 6. Mittaustulokset -15 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin	24
Kuvio 7. Mittaustulokset -20 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin	25
Kuvio 8. Mittaustulokset -25 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin	26
Kuvio 9. Mittaustulokset -30 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin	27
Kuvio 10. Mittaustulokset -35 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin...	28

Taulukko 1. Seinärakenteen lämpötila lasku lämmityselementille

Taulukko 2. Seinärakenteen lämpötila lasku ilman lämmityselementtiä

Taulukko 3. Seinärakenteen laskennalliset arvot 0 °C lämpötilassa lämmityselementillä

Taulukko 4. Seinärakenteen laskennalliset arvot 0°C lämpötilassa normaali rakenteella

Taulukko 5. Seinärakenteen laskennalliset arvot -10°C lämpötilassa lämmityselementillä

Taulukko 6. Seinärakenteen laskennalliset arvot -10°C lämpötilassa normaali rakenteella

Taulukko 7. Seinärakenteen laskennalliset arvot -20°C lämpötilassa lämmityselementillä

Taulukko 8. Seinärakenteen laskennalliset arvot -20°C lämpötilassa normaali rakenteella

Taulukko 9. Seinärakenteen laskennalliset arvot -25°C lämpötilassa lämmityselementillä

Taulukko 10. Seinärakenteen laskennalliset arvot -25°C lämpötilassa normaali rakenteella

Taulukko 11. Seinärakenteen laskennalliset arvot -30°C lämpötilassa lämmityselementillä

Taulukko 12. Seinärakenteen laskennalliset arvot -30°C lämpötilassa normaali rakenteella

Taulukko 13. Seinärakenteen laskennalliset arvot -35°C lämpötilassa lämmityselementillä

Taulukko 14. Seinärakenteen laskennalliset arvot -35°C lämpötilassa normaali rakenteella

Käytetyt termit ja määritelmät

Lämmöneriste	Rakennusaine, jota käytetään pääasiallisesti tai muun käyttötarkoituksen ohella lämmöneristämiseen.
Lämmöneristys	Yhdestä tai useammasta lämmöneristeestä rakennusosaan tehty eristekokonaisuus.
Tuulensuojalevy	Rakennusosassa oleva ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuoliseen rakenteen osaa ja takaisin.
Lämmönjohtavuus (λ)	Lämmönjohtavuus ilmoittaa lämpövirran tiheyden jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruinen.
Lämmönvastus (R)	Termisessä jatkuvuustilassa olevan tasapaksun ainekerroksen tai kerroksellisen rakenteen lämmönvastus ilmoittaa rakenteen eri puolilla olevien isotermisten pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen.
Pintavastus (R_{si} ja R_{se})	Rakennuksen pinnan ja sisä- tai ulkopuolisen ympäristön välisen rajakerroksen lämmönvastus.
U –arvo	Lämmönläpäisykerroin joka ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen.
Rayleigh’in luku	Kuvaa aineen sisäistä lämmönsiirtoprosessia.

1 JOHDANTO

Lämpenevät vuodenaajat tekevät talvista kosteampia ja sateisimpia. Lämpötilan vaihtelut ovat suuria ja aiheuttavat rasituksia talon rakenteille. Sisäiset kosteusrasitukset ovat myös kasvaneet, mihin vaikuttavat pääasiassa ulkoilman kosteus, ihmisen aiheuttama kosteus ja ilmanvaihdon kyky poistaa kosteutta sisäilmasta. (Björkholtz 97, 48.)

Rakennuksen tiiviyn merkitys on korostunut. Rakennuksen vaippa pitää olla tiiviimpi sisältäpäin kuin ulkoa, näin kosteus pääsee haihtumaan rakenteesta ulospäin. Seinärakenteessa olevan eristekerroksen paksuutta kasvatettaessa vähenee sisältäpäin tulevan lämmön määrä, rakenteen sisäinen lämpötila laskee ja lämpötilasta johtuva kyky sitoa kosteutta vähenee. (Björkholtz 97, 66.)

Lisääntyvä eristevahvuus talon seinissä sai tutkimaan lämmön ja kosteuden vaikutuksia erittäin paksuissa eristekerroksissa. Wufi Pro – ohjelmistolla tutkittiin pakkasen vaikutuksia seinärakenteissa. Ohjelmistolla oli myös mahdollista sijoittaa lämmönlähde rakenteeseen. Havaittiin, että pienellä lämmöntuotolla eristeen puolivälissä sai pakkasen puolelle menevää osaa lähemmäksi ulkoseinää ja suhteellinen kosteus laski rakenteessa.

Excelissä tehtiin taulukko, jossa laskettiin rakenteessa tapahtuvia lämmön muutoksia eri materiaalien kohdalla. Samaiseen taulukkoon tehtiin toinen identtinen rakenne, johon sijoitettiin 10 asteen lämmöntuotto keskelle eristekerrosta. Tällä tutkittiin, miten nämä kaksi erilaista rakennetta erosivat toisistaan laskennallisesti eri ulkoilman lämpötiloilla.

2 YLEISTÄ SEINÄRAKENTEESTA

Ympäristöministeriön määräys määrittelee, että ulkoseinä rakenteet ja sen eri kerrokset on oltava sellaisia, ettei kosteuspitoisuus vesihöyryn diffuusion tai konvektion vuoksi muodostu haitalliseksi (RakMk C2 98, 3).

Lämmöneristyksen suunnittelussa tulee huomioida, että eristeet säilyttävät ominaisuutensa rakennuksen käyttöön mukaan. Rakennusvaiheen ja rakenteiden käytön aikana lämmöneristeisiin kohdistuvat kuormitukset tulee ottaa huomioon (RakMk C4 03, 4).

Ympäristöministeriön määräys rakennusten energiatehokkuudesta määrittelee lämpimän tilan lämmönläpäisykertoimeksi seinän enimmäisarvoksi $0,17\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ (RakMk D3 12, 5).

Yleensä pientalon seinärakenne koostuu ulkoverhouksesta, tuuletusvälistä, tuulensuoja materiaalista, kantavasta rakenteesta, jossa on eristekerros, höyrynsulkumuovista ja sisäpuolisesta pintamateriaalista. Rakenne suunnitellaan niin, että eristys on riittävä ja kantaa katolta tulevat kuormat niin, ettei haitallista kosteutta jää rakenteeseen.

2.1 Seinärakenteeseen vaikuttavia fysikaalisia osatekijöitä

2.1.1 Kosteus

Kaikki huokoiset materiaalit ominaisuuksistaan ja ympäröivistä olosuhteista (kosteus, lämpö) sisältävät jonkin verran kosteutta. Rakentamisen aikana oleva ilman kosteus jää rakenteen sisälle ja käytön aikana ympäröivät olosuhteet luovat omat kosteusrasitukset. (Siikanen 96, 51- 52.)

Vesihöyry siirtyy diffuusion kautta suuremmasta vesihöyrynpitoisuudesta pienempään pitoisuuteen. Diffuusiovirtauksen suunta on yleensä lämpimästä

kylmempään, paitsi kun kylmemmän tilan kosteuspitoisuuden ollessa suurempi kuin lämpimämmän, virtaussuunta on kylmästä lämpimään. (Siikanen 96, 56.)

2.1.2 Tiivistyminen

Kun lämmin kostea ilma joutuu kosketuksiin viileämmän pinnan kanssa, jonka lämpötila alittaa kastepistelämpötilaan, tiivistyy kosteus viileämmälle pinnalle. Tähän vaikuttaa lämpimämmän ilman suhteellinen kosteus, lämpötila ja viileämmän pinnan vastaavat arvot. (Björkholtz 97, 64.)

2.1.3 Hygroskooppinen tasapainokosteus

Hygroskooppinen tasapainokosteus tarkoittaa aineen kykyä luovuttaa kosteutta ilmaan ja sitoa kosteutta ilmasta. Alhaisessa lämpötilassa sitoutuu aineeseen enemmän vettä kuin lämpimissä olosuhteissa. Ilman suhteellisen kosteuden lisääntyessä materiaali kastuu ja suhteellisen kosteuden vähentyessä materiaali kuivuu luovuttamalla kosteutta ympäröivään ilmaan (RT 05-10710 99, 3.)

2.1.4 Mikrobin kasvu

Suhteellisen kosteuden ollessa jatkuvasti yli 70...75 % RH ja lämpötila +10...55°C mikrobit ja homeet voivat kasvaa. Kasvu on nopeaa suhteellisen kosteuden ollessa 90 % RH ja lämpötilan +20°C. (RT 05-10710 99, 6.)

2.1.5 Kuivuminen

Rakenteen koko, materiaalin ominaisuudet ja kosteusolosuhteet vaikuttavat kuivumisnopeuteen. Pinnassa oleva kosteus haihtuu helpommin, mutta rakenteen

sisällä oleva kosteus poistuu hitaammin johtuen kuljetusta matkasta materiaalien läpi ja niiden muodostamasta vastuksesta. (Björkholtz 97, 80.)

2.2 Lämpö

Lämmön siirtymismuotoja rakenteessa ovat säteily, johtuminen ja konvektio. Siirtyminen tapahtuu lämpimämmästä kylmempään.

Absoluuttisen nollapisteen yläpuolella olevat kappaleet lähettävät lämpösäteilyä. Auringon valo on lyhytaaltoista ja kappaleiden pitkäaaltoista säteilyä. Kun säteily osuu johonkin pintaan, se osittain heijastuu ja osittain absorboituu.

Johtuminen tapahtuu kiinteissä aineissa ja nesteissä. Lämpöä siirtyy kun molekyylien liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen.

Konvektio on lämmön siirtymistä kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Rakenteissa tähän vaikuttaa yleisimmin tuuli ulkopuolelta ja sisäpuolelta ihminen ja koneellinen ilmanvaihto. Konvektiota aiheuttaa myös lämpötilaeroista syntyvä ilman tiheysero. (Björkholtz D 97 12-13.)

2.2.1 Lattialämmityskaapeli

Sähköinen lattialämmityskaapeli sijoitetaan yleensä lattiaan sisään rakennuksissa, josta se luovuttaa lämpöä lattiaan ja siitä edelleen huoneilmaan. Lattiassa oleva kaapeli toimii vastuksena ja lämpenee sähkövirran avulla. Termostaatin avulla pystytään määrittelemään haluttu lämpötila ja tätä lämpötilaa termostaatti mittaa lattian sisälle sijoitettavan anturin kautta. Tässä työssä sovellettiin olemassa olevaa järjestelmää uudessa ympäristössä.

3 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

3.1 Teoreettiset laskelmat

Laskettiin rakenteelle muunnetuksi Rayleigh'n luvuksi 5,46 50 asteen lämpötila erolla. Muunnettu Rayleigh'n luku lasketaan kaavalla

$$Ra_m = k \frac{dk\eta\Delta T}{\lambda U}$$

jossa

Ra_m = muunnettu Rayleigh'n luku

d = lämmöneristeen paksuus (m)

k = lämmöneristeen ilmanläpäisevyys ($m^3/(m \cdot s \cdot Pa)$)

η = ilman dynaaminen viskositeetti 10 °C lämpötilassa ($0,0175 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot s$)

ΔT = lämmöneristekerroksen sisä- ja ulkopinnan välinen lämpötilaero

λ_U = lämmöneristeen lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo ($W/m \cdot K$)

k = kerroin, jonka arvo on $3 \cdot 10^6 \text{ (kg/m}^2 \cdot s^3 \cdot K^2)$

Lämmityselementin kohdalla laskettiin rakenteessa tapahtuvat lämpötilan muutokset kahdessa osassa. Ensimmäinen laskenta sisäpinnasta alkaen päättyi lämmityselementin lämpöarvoon ja tuulensuojalevyn puolella olevaan ulkopintaan tapahtuva laskenta alkoi lämmityselementin lämpöarvosta. Ilman lämmityselementtiä olevan seinärakenteen lämpötilan muutokset laskettiin ja

näistä tuloksista tehtiin taulukko Exceliin. Taulukossa molempien rakenteiden lämpötilan muutokset sijoitettiin pystyakselille ja rakenteen paksuus vaakakselille. Näin pystyttiin tarkastelemaan missä kohdassa rakennetta lämpötila laski alle nollan asteen.

Taulukko 1. Seinärakenteen lämpötila lasku lämmityselementille

		Ulkolämpötila	Sisälämpötila	Vastus		
		-30	20	10		
Vastus	10					
Sisälämpötila	20					
Erotus	10					
Rayleigh luku	5,460233					
Delta T	46,80199					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus	0		0,13	0,022654574	0,226545739	19,77
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,00906183	0,090618296	19,68
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	0,000139413	0,001394128	19,68
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	14,84
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	10
Yhteensä	0,2132		5,738355556	1	10	
Vastus	10					
Ulkolämpötila	-30					
Erotus	40					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	18,11992804	-8,12
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	18,11992804	-26,24
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,072803282	2,912131292	-29,15
Pintavastus			0,13	0,021200316	0,848012632	-30
Yhteensä	0,225		6,131984127	1	40	
Kokonais	0,4382		11,87033968		50	

Taulukko 2. Seinärakenteen lämpötila lasku ilman lämmityselementtiä

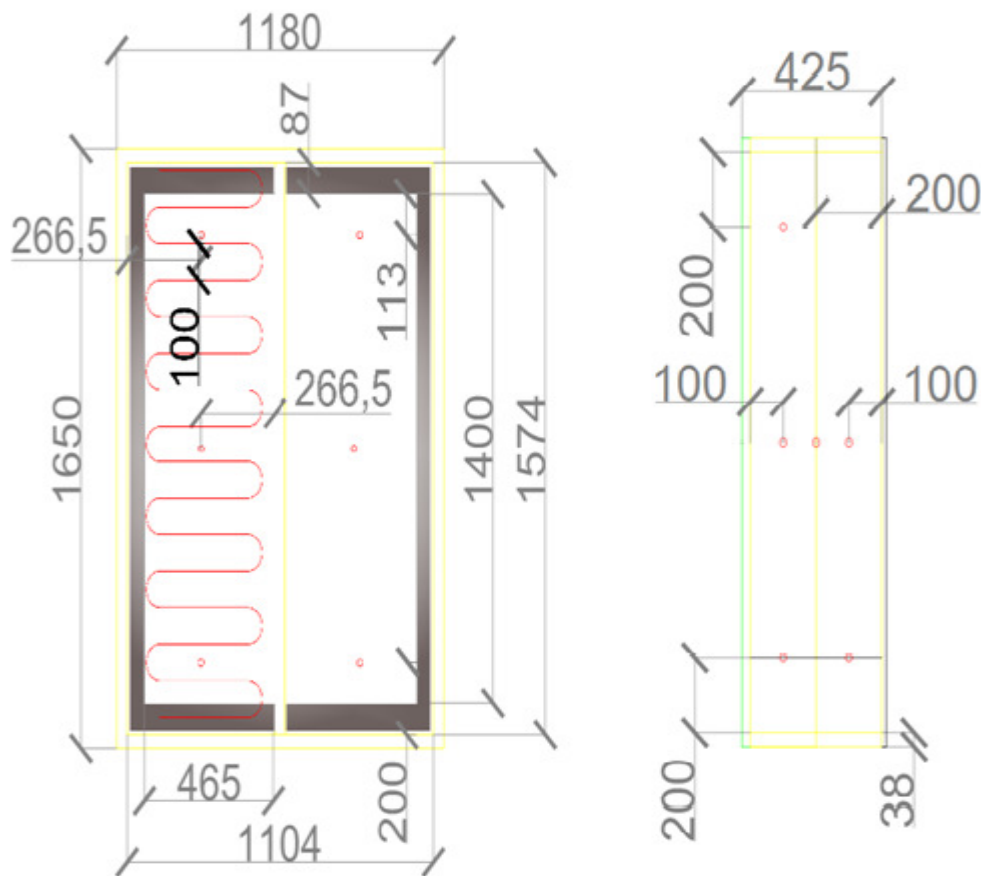
Ukolämpötila	-30					
Sisälämpötila	20					
Erotus	50					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,547583319	19,45
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,004380667	0,219033328	19,23
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	6,73949E-05	0,003369744	19,23
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	11,70049827	7,53
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	11,70049827	-4,17
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	11,70049827	-15,87
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	11,70049827	-27,57
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,037608744	1,880437222	-29,45
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,547583319	-30,00



Kuvio 1. Lämpötilojen muutokset suhteessa seinärakenteen paksuuteen

3.2 Testiseinän rakentaminen

Edellä mainittujen teoreettisten laskelmien pohjalta päätettiin tehdä SeAMK:n laboratoriossa testiseinän Arctestin olosuhdekammioon. Testiseinän rakenne oli 438,2mm paksu koostuen 25mm tuulensuojalevystä, 400mm kivivillasta, höyrynsulkumuovista ja 13mm kipsilevystä. Toinen puoli seinärakenteesta sisälsi eristeen puolivälissä lattialämmityskaapelin, joka säädettiin ylläpitämään +10 asteen lämpötilaa. Rakenteeseen sijoitettiin 12 anturia mittaamaan lämpötilaa eristekerroksien sisällä. Ulkopuoliset tekijät poissulkien valittiin kuusi eristekerroksien keskellä olevaa anturia, joiden perusteella suoritettiin lämpötila seurannat rakenteessa. Punaiset ympyrät kuvastavat lämpötila -antureiden sijoittumista rakenteessa.

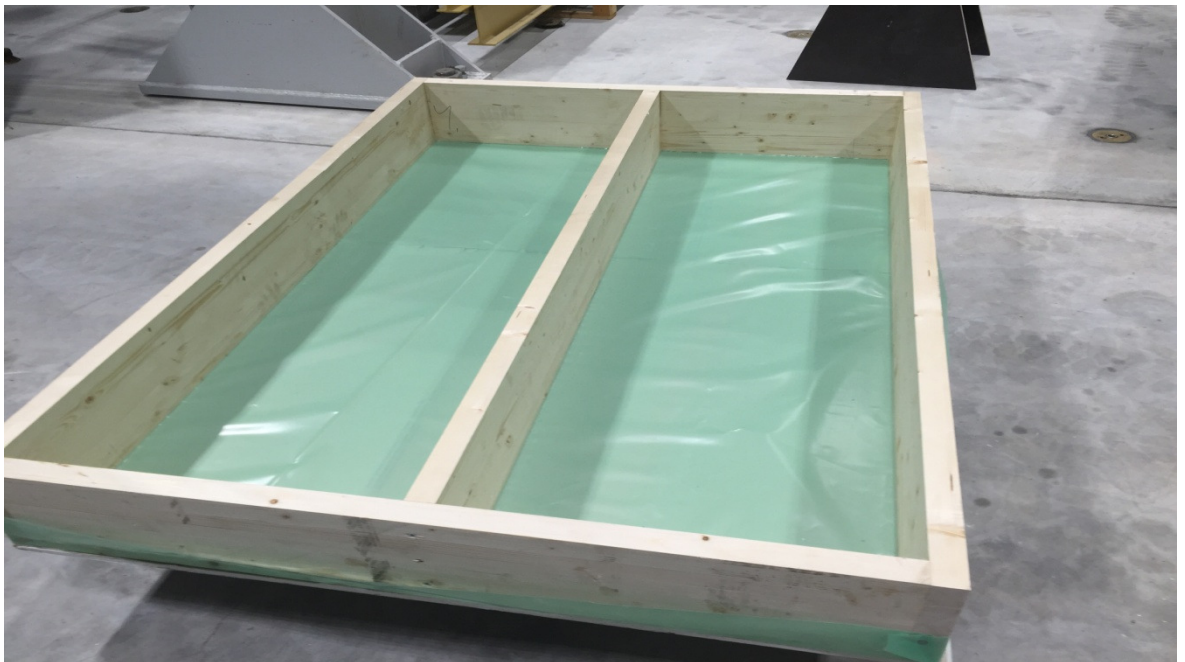


Kuvio 2. Testiseinän mitat ja antureiden sijainti rakenteessa

Seinärakenteen kaikki saumat tiivistettiin silikonilla ulkopuolisten vaikutteiden minimoinniksi mittauksiin.

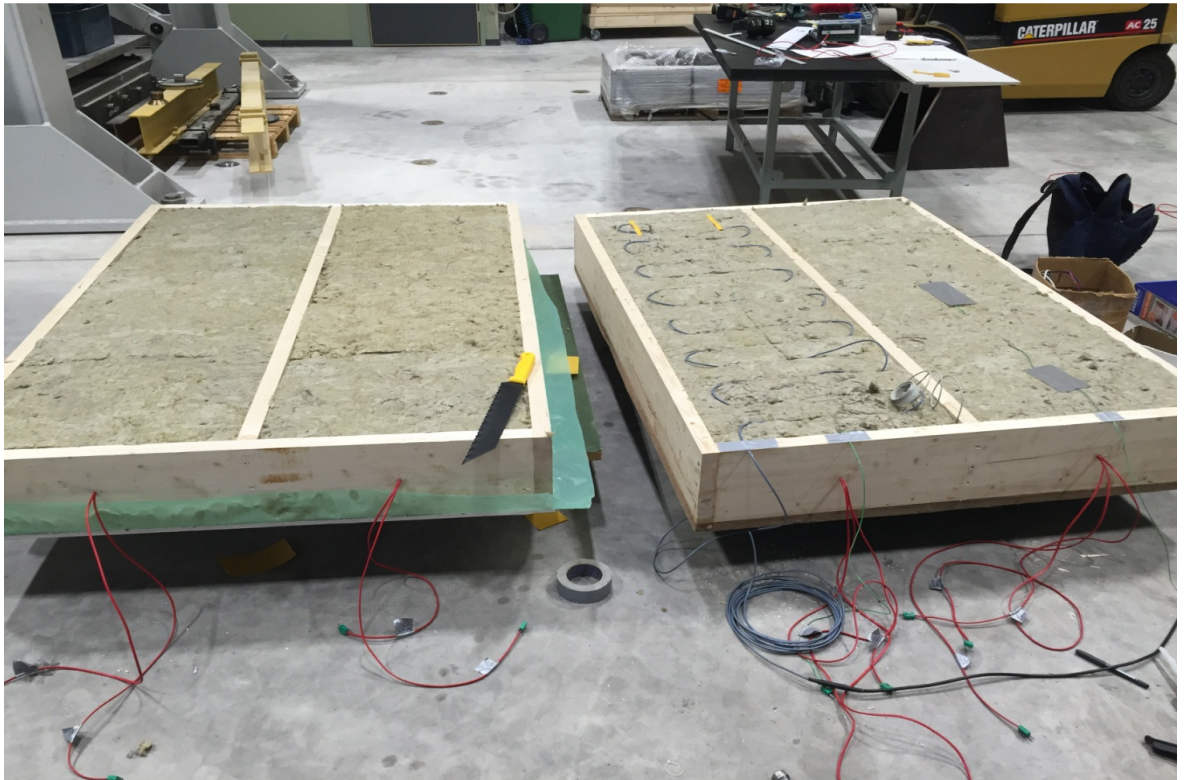


Kuva 1. Tuulensuojalevyn puoleinen runko ja silikonilla tiivistetty sauma



Kuva 2. Sisäpinnan puoleinen runkorakenne höyrynsulkumuovilla

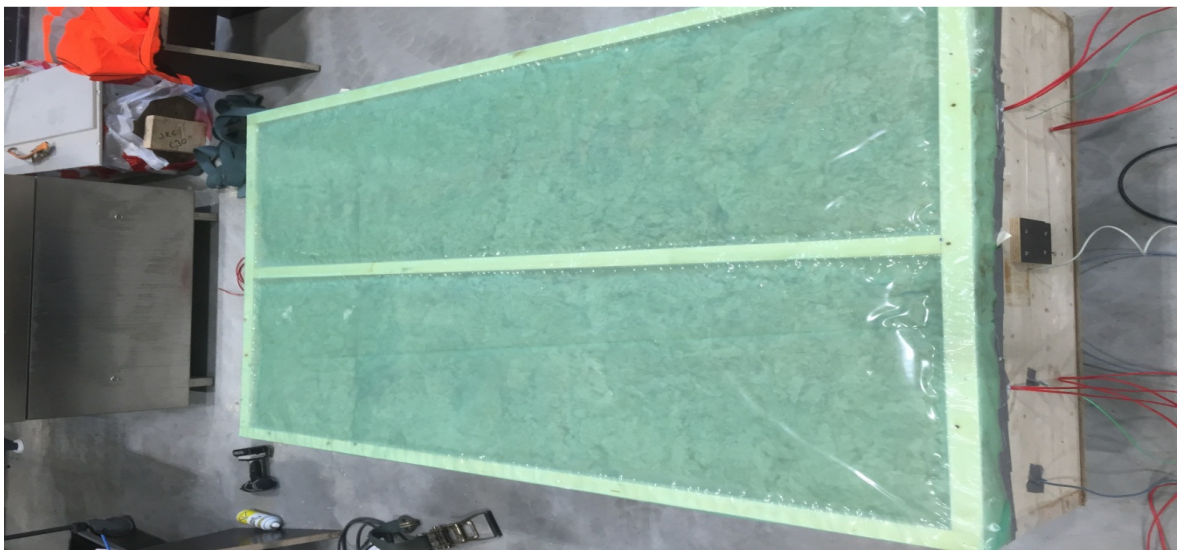
Lämmityskaapeli tuli 100 mm:n jaolla puoleen väliin eristekerrosta. Lämpöantureitten johtojen läpiviennit tiivistettiin silikonilla. Lämmityskaapeli oli Ebeco cable kit 200 ja termostaattina EB-Therm 205. Termostaatin lämpötilan seurantapiste oli keskellä vastuslangan puoleista seinärakennetta, 50mm:n etäisyydellä vastuslangasta.



Kuva 3. Rungot villoitetuna, anturit ja lämmityskaapeli asennettuna.

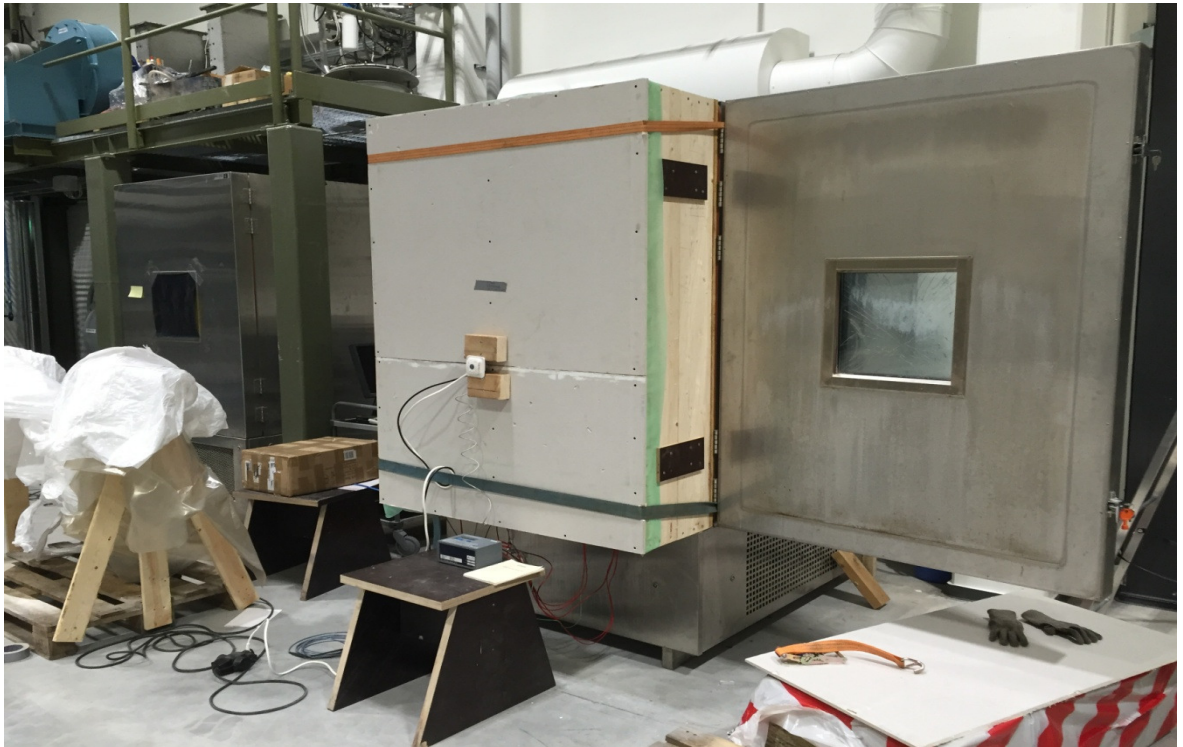


Kuva 4. Vastuslangan jakoväli



Kuva 5. Höyrynsulkumuovi kiinnitettiin silikonilla puurunkoon

Kaappi kiristettiin Arctest - olosuhdekammioita vasten. Kun -35 astetta oli olosuhdekammion sisäpuolella, tarkistettiin lämpökameralla oliko rakenteessa lämpövuotoja. Lämpövuotoja ei havaittu.



Kuva 6. Valmis testiseinä olosuhdekammioon kiinnitettynä

3.3 Kokeen päättäminen ja seinän purkaminen

Koe alkoi 22.10.2015 ja päättyi 30.10.2015. Aloitus lämpötila oli 0 astetta. Vuorokauden välein lämpötilaa pudotettiin -5 astetta. 30.10.2015 olosuhdekammion lämpötila oli -35, kun viimeiset mittaukset tehtiin ja mittaukset päätettiin. Testiseinää purettaessa ei havaittu mitään tavallisuudesta poikkeavaa. Ilman kosteutta oli tiivistynyt tuulensuojalevyn puolelle yläpäähän rakennetta.



Kuva 7. Ilmankosteutta tiivistyneenä tuulensuojalevyn yläpäähän

4 TULOKSET

Dataloggerina käytettiin Eltek 1000 Series Squirrel. Lämpötila - anturit kalibroitiin ja tarkistettiin käyttäen -30, -25, -20, -15, -10, 0 ja +20 asteen lämpötiloja. Kalibroinnissa käytettiin Arctest - olosuhdekammiota jossa on Jumo Imago 500 käyttöpääte. Laboratorion ympäröivän ilman lämpötilaa seurattiin Eltekin dataloggerilla, eikä merkittäviä muutoksia lämpötiloissa havaittu. Tässä tutkimuksessa ”Verrokki” on normaali seinärakenne ja ”Vastus” sisältää lämmityselementin.

Mittaukset kirjattiin ylös kerran vuorokaudessa. Datalogger tallensi lämpötiloja 4 tunnin välein. Mittauksissa huomioitiin oliko vastuslanka lämpiämässä, ja seurattiin, koska lämmitys lähtee päälle, ja kuinka kauan se lämmittää. -25 - -30 asteen lämpötiloissa lämmitys lähti päälle noin tunnin välein ja lämmitti 4-5 minuuttia minkä jälkeen se siirtyi lepotilaan. Noin 15 minuutin jälkeen 100 mm:n päässä vastuksesta olevat lämpöanturit alkoivat reagoida lämmön nousuun. Vastuksesta 50 mm:n päässä oleva anturi rekisteröi 14,5 asteen lämpötilan vastuksen sammuttua ja kohosi siitä 18 - 19 asteen lämpötilaan. Tämän jälkeen keskikohta, jossa lämpöanturi ja termostaatin anturi sijaitsi alkoi viilentyä ja +9,6 asteen kohdalla termostaatti alkoi taas lämmittämään vastusta.

”Laskennallinen arvo” kertoo teoreettisen lämpöarvon vastaavalle kohdalle rakenteessa. Olosuhdekammion (mittauksissa ”Kaapin”) lämpötila ja sisäilman lämpötila ovat ylimpänä ja taulukosta näkee lämmön kulun rakenteessa.

Tarkoituksena oli mitata kokeen lopuksi kosteuspitoisuudet materiaaleista, mutta laitteiston vikaantumisen vuoksi tätä ei voitu suorittaa.

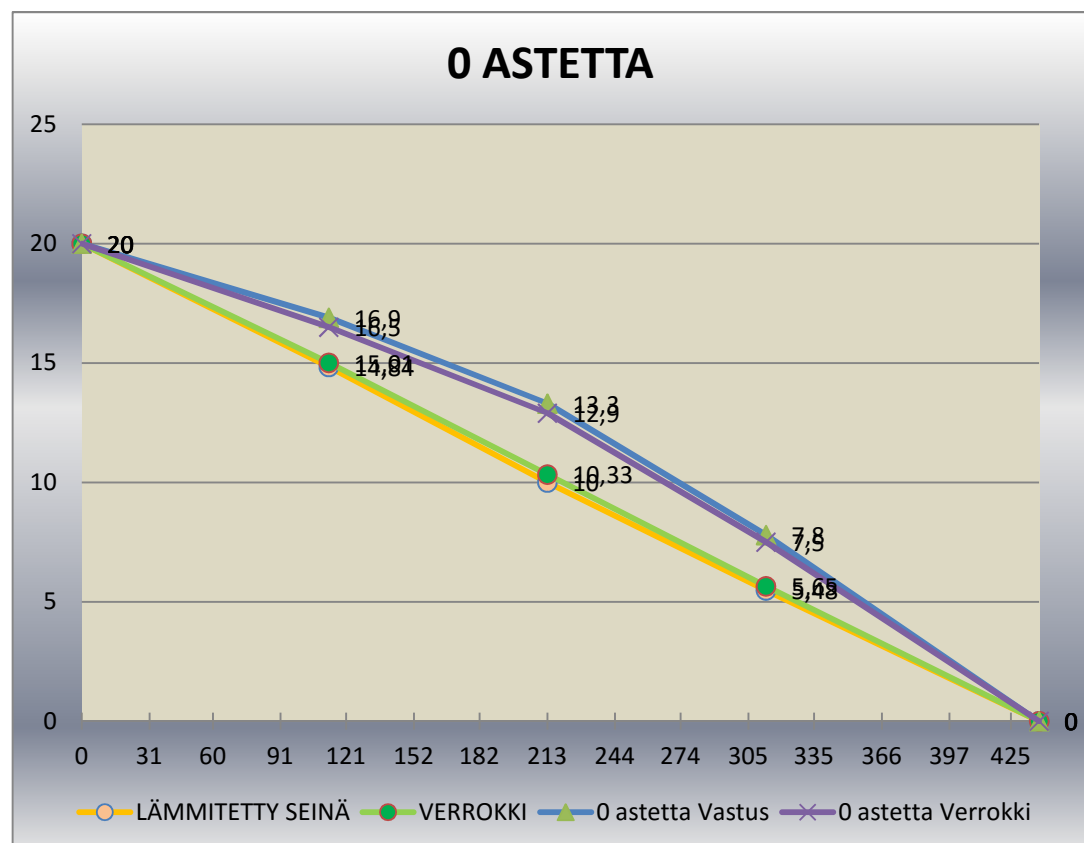
Kaapin lämpö Sisäilma lämpö
0 20

Verrokki					
Keskilinja	20	16,5	12,9	7,5	0

Vastus					
Keskilinja	20	16,9	13,3	7,8	0

Laskennallinen arvo					
Verrokki	20	15,01	10,33	5,65	0
Vastus	20	14,84	10	5,48	0

Rakenne vahvuus mm 0 113,2 213,2 313,2 438,2



Kuvio 3. Mittaustulokset 0 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin

Kaapin lämpö Sisäilma lämpö
-5 20

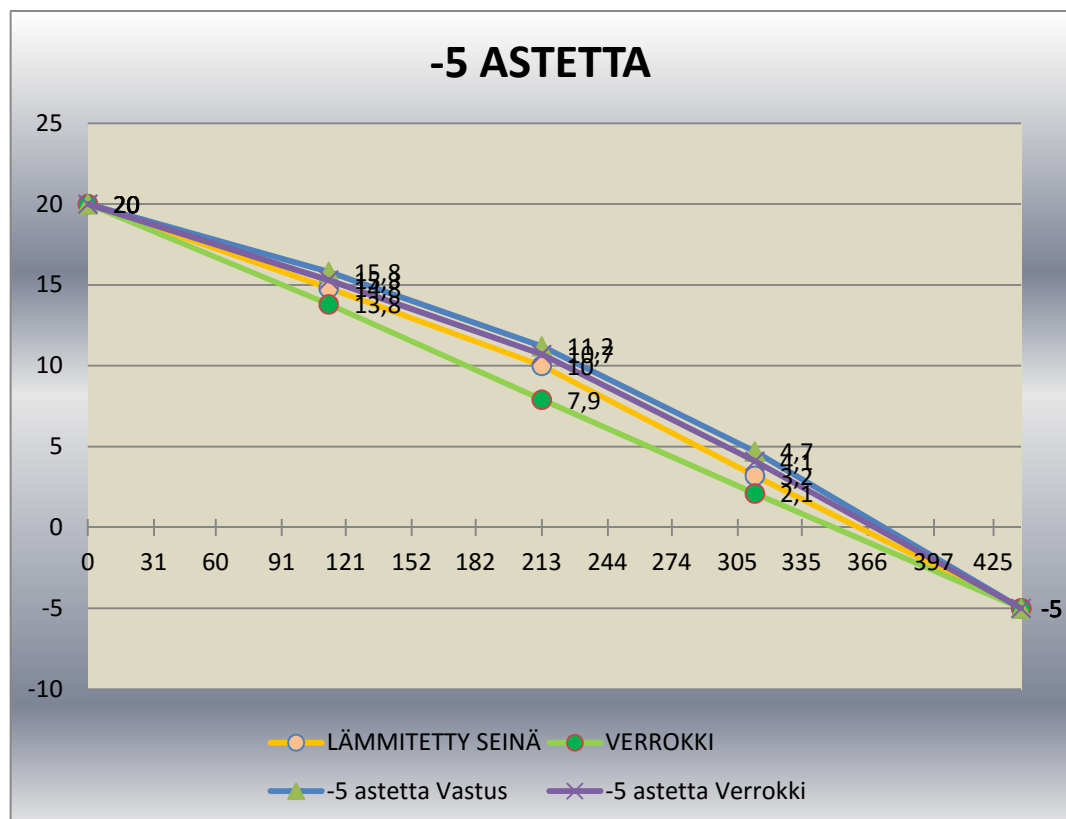
Verrokki					
Keskilinja	20	15,3	10,7	4,1	-5

Vastus					
Keskilinja	20	15,8	11,2	4,7	-5

Laskennallinen arvo					
Verrokki	20	13,8	7,9	2,1	-5
Vastus	20	14,8	10	3,2	-5

Rakenne vahvuus
mm

0 113,2 213,2 313,2 438,2



Kuvio 4. Mittaustulokset -5 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin

Kaapin lämpö Sisäilma lämpö
-10 20

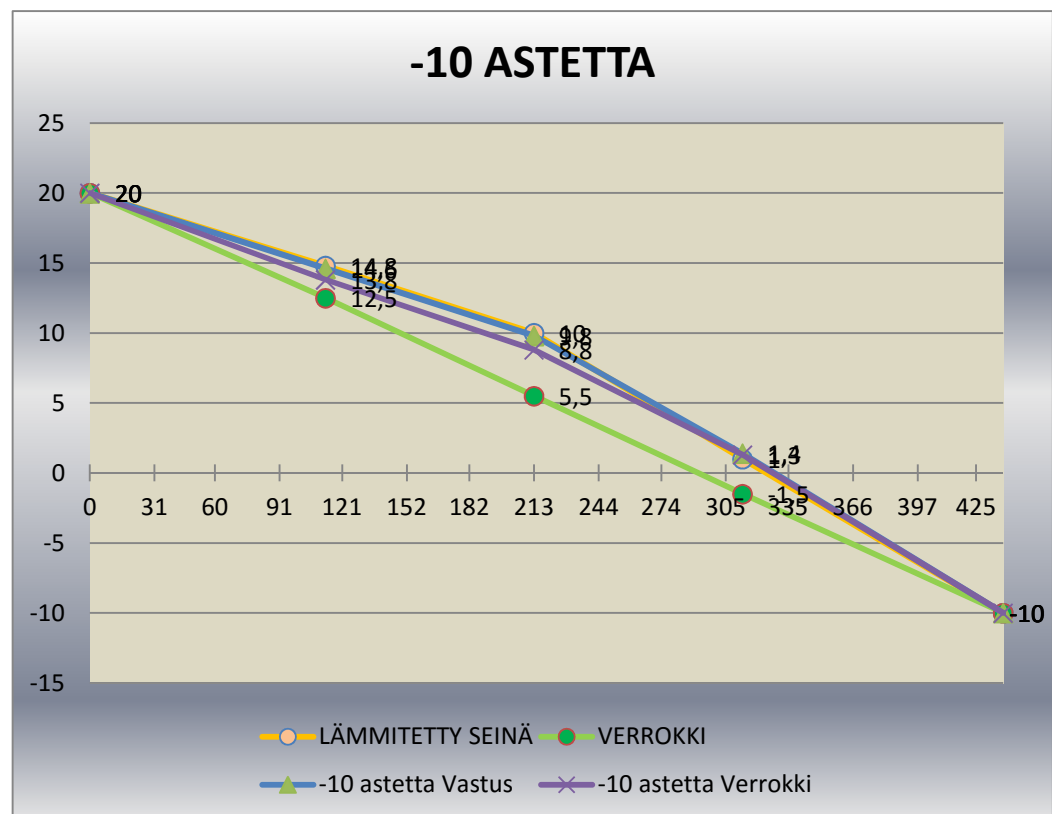
Verrokki					
Keskilinja	20	13,8	8,8	1,3	-10

Vastus					
Keskilinja	20	14,6	9,8	1,4	-10

Laskennallinen arvo					
Verrokki	20	12,5	5,5	-1,5	-10
Vastus	20	14,8	10	1	-10

Rakenne vahvuus
mm

0 113,2 213,2 313,2 438,2



Kuvio 5. Mittaustulokset -10 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin

Kaapin lämpö Sisäilma lämpö
-15 20

Verrokki					
Keskilinja	20	12,9	7,1	-2	-15

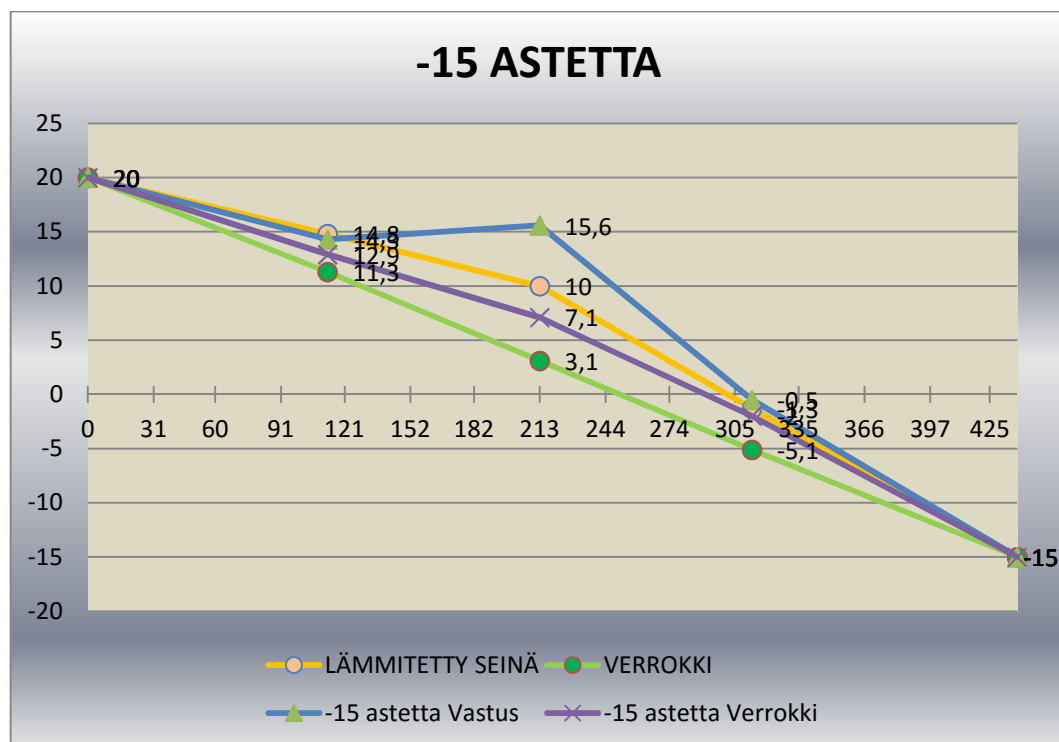
Vastus					
Keskilinja	20	14,3	15,6	-0,5	-15

Laskennallinen arvo					
Verrokki	20	11,3	3,1	-5,1	-15
Vastus	20	14,8	10	-1,3	-15

Rakenne vahvuus
mm

0 113,2 213,2 313,2 438,2

Vastus oli mittaus hetkellä lämmitämässä rakennetta, mistä seurasi poikkeava lukema.



Kuvio 6. Mittaustulokset -15 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin

Kaapin lämpö Sisäilma lämpö
-20 20

Verrokki					
Keskilinja	20	12,1	5,5	-4,7	-20

Vastus					
Keskilinja	20	14,7	10,5	-1,9	-20

Laskennallinen arvo					
Verrokki	20	10	0,7	-8,7	-20
Vastus	20	14,8	10	-3,6	-20

Rakenne vahvuus
mm

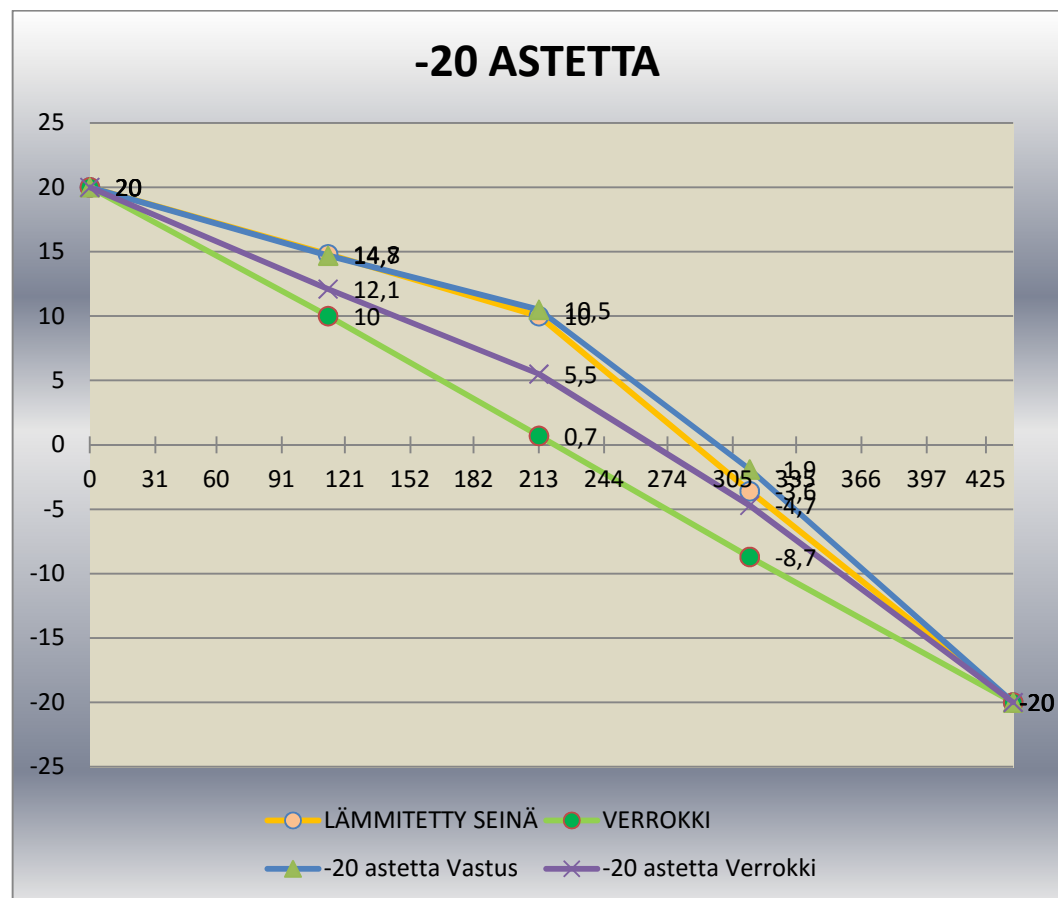
0

113,2

213,2

313,2

438,2



Kuvio 7. Mittaustulokset -20 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin

Kaapin lämpö Sisäilma lämpö
-25 20

Verrokki					
Keskilinja	20	11,6	3,9	-7,6	-25

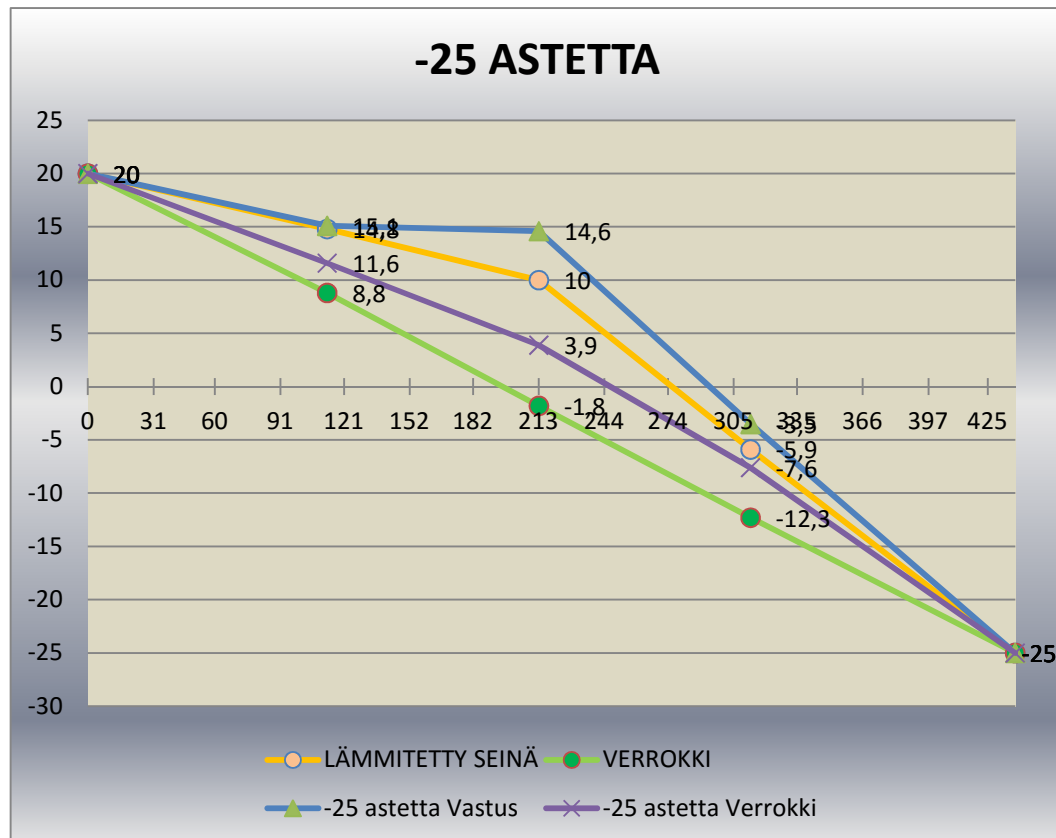
Vastus					
Keskilinja	20	15,1	14,6	-3,5	-25

Laskennallinen arvo					
Verrokki	20	8,8	-1,8	-12,3	-25
Vastus	20	14,8	10	-5,9	-25

Rakenne vahvuus
mm

0 113,2 213,2 313,2 438,2

Vastus lämmitti mittausta hetkellä, josta seurasi poikkeava lukema lämpötilaan.



Kuvio 8. Mittaustulokset -25 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin

Kaapin lämpö Sisäilma lämpö
-30 20

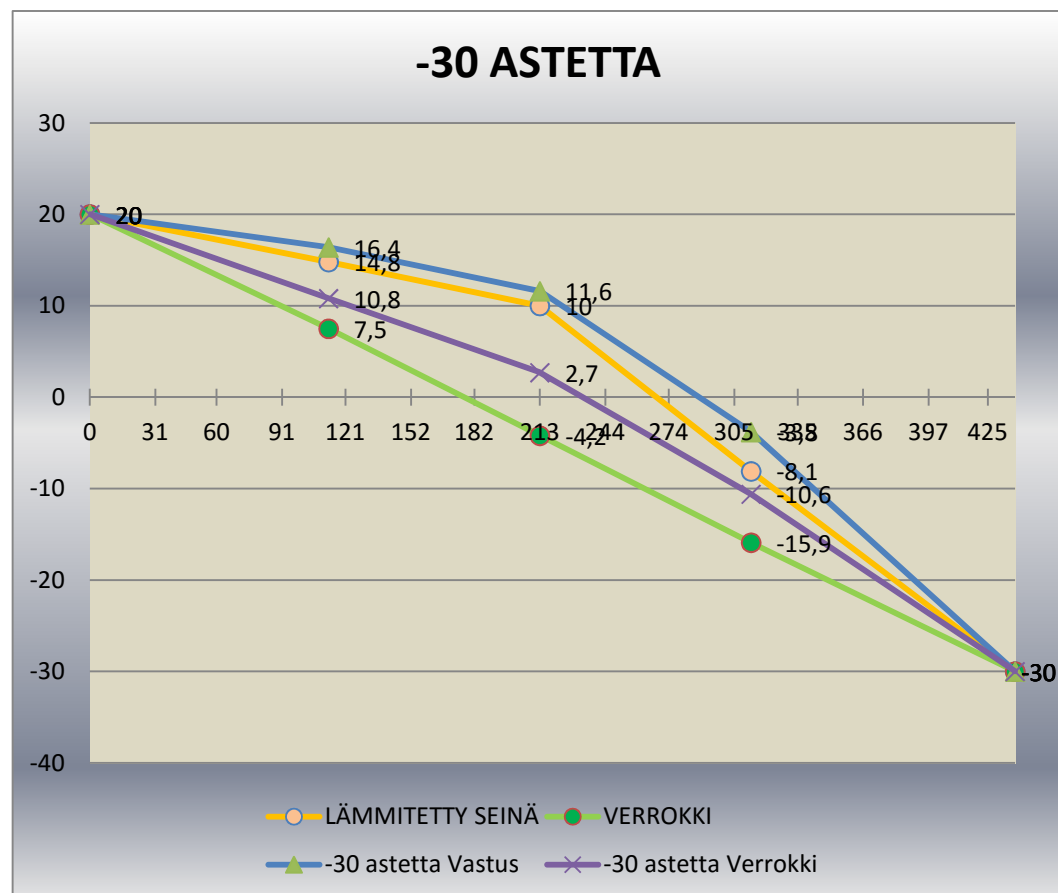
Verrokki					
Keskilinja	20	10,8	2,7	-10,6	-30

Vastus					
Keskilinja	20	16,4	11,6	-3,8	-30

Laskennallinen arvo					
Verrokki	20	7,5	-4,2	-15,9	-30
Vastus	20	14,8	10	-8,1	-30

Rakenne vahvuus
mm

0 113,2 213,2 313,2 438,2



Kuvio 9. Mittaustulokset -30 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin

Kaapin lämpö Sisäilma lämpö
-35 20

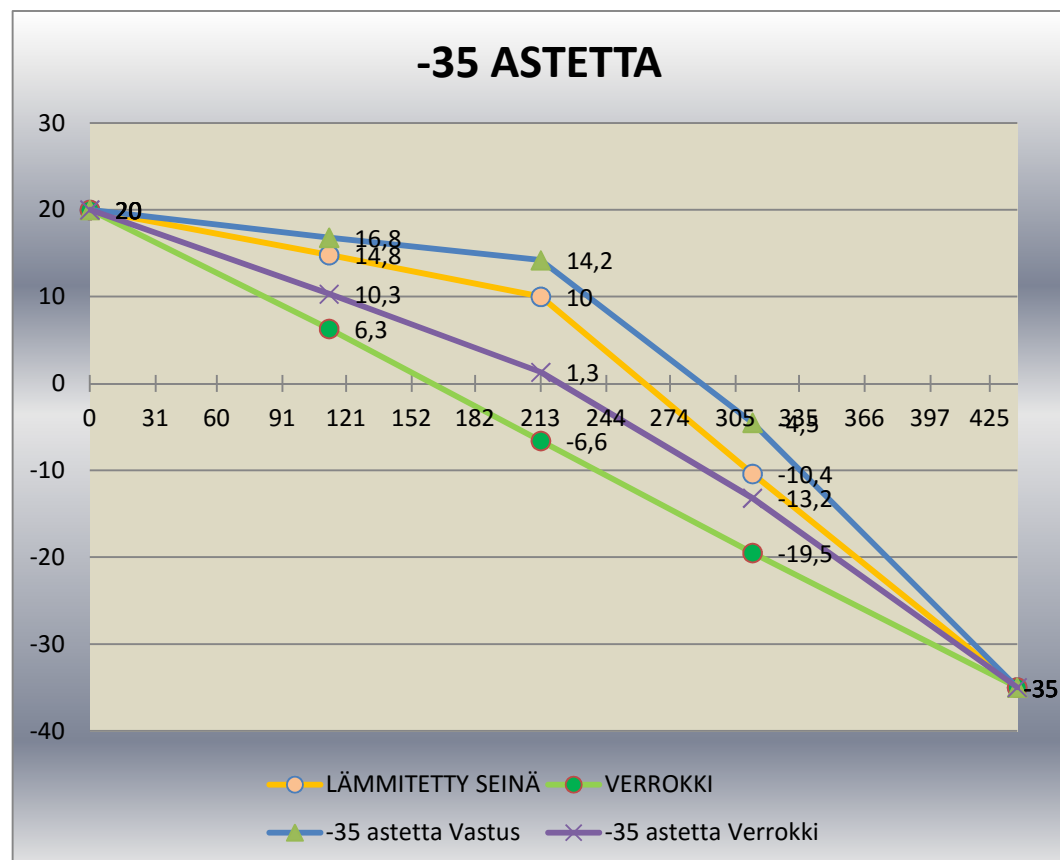
Verrokki					
Keskilinja	20	10,3	1,3	-13,2	-35

Vastus					
Keskilinja	20	16,8	14,2	-4,5	-35

Laskennallinen arvo					
Verrokki	20	6,3	-6,6	-19,5	-35
Vastus	20	14,8	10	-10,4	-35

Rakenne vahvuus
mm

0 113,2 213,2 313,2 438,2



Kuvio 10. Mittaustulokset -35 asteen lämpötilassa verrattuna laskenta arvoihin

5 POHDINTA

Käytännön kokeessa oleva seinärakenne säilyi lämpimämpänä, kuin mitä teoreettiset laskelmat antoivat olettaa. Tähän vaikutti todennäköisesti eniten saumojen sulkeminen silikonilla (liitos ja molemmat sivut käsiteltiin) ja vastuslangan tuoma lisälämpö toiselle puolelle. Verrokki puoli ei hyötynyt tästä lisälämmöstä. Muuten rakenteen lämpö seurasi teoreettista mallia ja sen perusteella voidaan todeta, että 10 asteen lämpötilaan asetettu termostaatti nosti rakenteen lämpötiloja eri rakenne kerroksissa. Vastuslangan ylläpitämä 10 asteen lämpötila oli riittävä muuttamaan rakennekerroksien lämpötiloja paremmaksi, koska eristekerrokset pysyivät lämpimämpinä, jolloin rakenteet pysyvät kuivempina. Sisäistä konvektiota ei seinärakenteissa havaittu tapahtuvan. Harmillisesti kosteuspitoisuudet rakenteesta jäi selvittämättä laitteiston vikaantumisen vuoksi.

Yksi viiden minuutin lämmitysjakso tarkoittaa 120 minuutin eli 2 tunnin lämmitystä per vuorokausi. Ylin asennusteho tällä kaapelilla on 160W/m^2 , jolloin vuorokauden kulutus on $0,32\text{kWh/m}^2$. Seinäjoen energian talviarkipäivän sähkön hinta on $0,063\text{€/kWh}$, jolloin neliön lämmitys hinnaksi talvella tulee $0,32\text{kWh/m}^2 * 0,063\text{€/kWh} = 0,02\text{€/m}^2$. 120m^2 kokoisen talon seinäpituuksien ollessa 10 metriä ja 12 metriä tulee seinä pinta-alaa $(10\text{m}+10\text{m}+12\text{m}+12\text{m}) * 2,5$ metriä huonekorkeus = 110m^2 . Tällöin lämmityskustannukset olisivat $110\text{m}^2 * 0,02\text{€/m}^2 * 30$ päivää = 66 € kuukausi. Osan kustannuksesta voi vähentää talon sisäpuolisesta lämmityksen tarpeesta. Todennäköisesti talon sisäpuolisessa lämmityksessä saataisiin hyödynnettyä puolet seinän sisäisen lämmityksen kustannuksista.

Tämä voisi olla yksi tapa parantaa talojen asumismukavuutta ja seinärakenteita.

6 LÄHTEET

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja Kosteus. Helsinki; Rakennustieto Oy.

RakMK C2 Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki; Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.

RakMK C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Helsinki; Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.

RakMK D3 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki; Rakennustieto Oy

RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Helsinki; Rakennustieto Oy

Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovellukset. Helsinki; Rakennustieto Oy

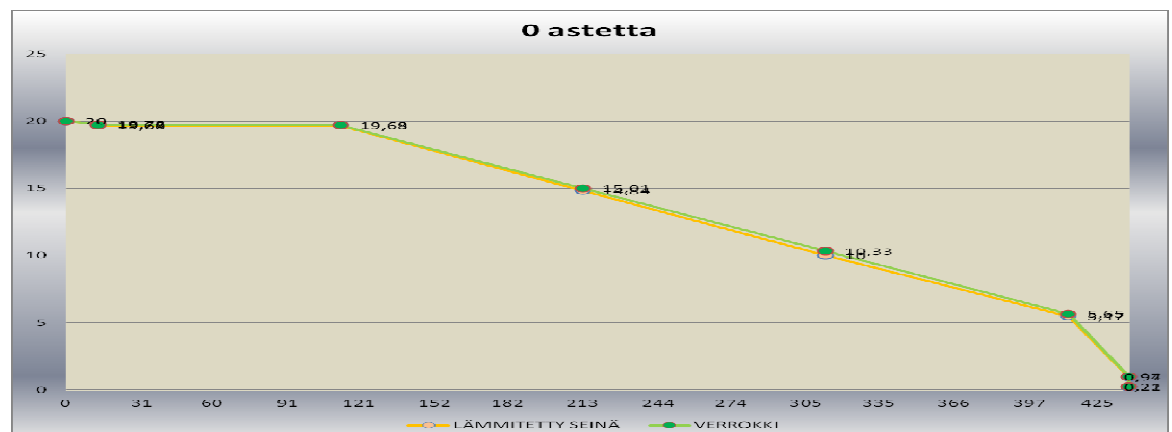
7 LIITTEET

Taulukko 3. Seinärakenteen laskennalliset arvot 0 asteen lämpötilassa lämmityselementillä

		Ulkolämpötila	Sisälämpötila	Vastus		
		0	20	10		
Vastus	10					
Sisälämpötila	20					
Erotus	10					
Rayleigh luku	2,184093					
Delta T	18,7208					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus	0		0,13	0,022654574	0,226545739	19,77
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,00906183	0,090618296	19,68
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	0,000139413	0,001394128	19,68
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	14,84
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	10
Yhteensä	0,2132		5,738355556	1	10	
Vastus	10					
Ulkolämpötila	0					
Erotus	10					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	4,52998201	5,47
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	4,52998201	0,94
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,072803282	0,728032823	0,21
Pintavastus			0,13	0,021200316	0,212003158	-7,772E-16

Taulukko 4. Seinärakenteen laskennalliset arvot 0 asteen lämpötilassa normaali rakenteella

MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,219033328	19,78
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,004380667	0,087613331	19,69
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	6,73949E-05	0,001347897	19,69
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	4,680199307	15,01
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	4,680199307	10,33
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	4,680199307	5,65
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	4,680199307	0,97
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,037608744	0,752174889	0,22
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,219033328	0,00

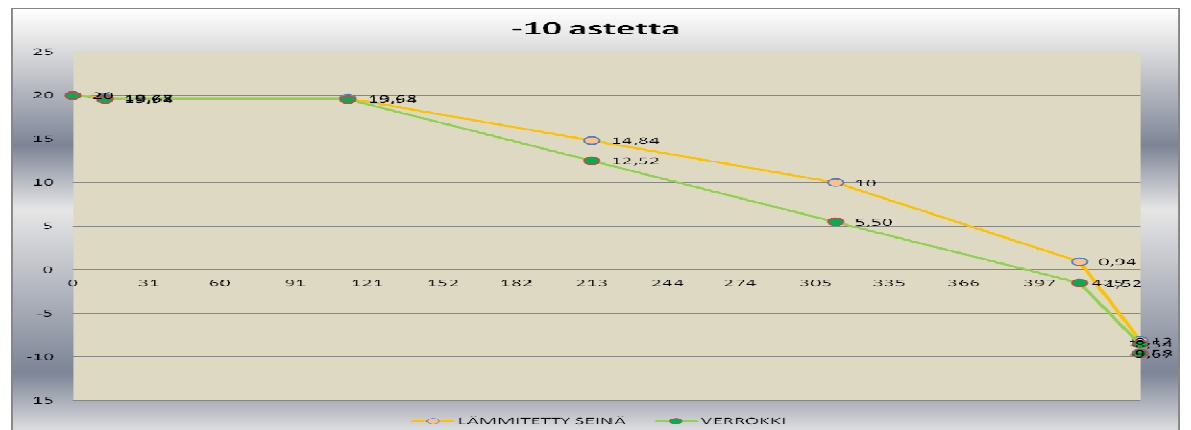


Taulukko 5. Seinärakenteen laskennalliset arvot -10 asteen lämpötilassa lämmityselementillä

		Ulkolämpötila -10	Sisälämpötila 20	Vastus 10		
Vastus	10					
Sisälämpötila	20					
Erotus	10					
Rayleigh luku	3,27614					
Delta T	28,0812					
MATERIALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus	0		0,13	0,022654574	0,226545739	19,77
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,00906183	0,090618296	19,68
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	0,000139413	0,001394128	19,68
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	14,84
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	10
Yhteensä	0,2132		5,738355556	1	10	
Vastus	10					
Ulkolämpötila	-10					
Erotus	20					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	9,059964019	0,94
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	9,059964019	-8,12
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,072803282	1,456065646	-9,58
Pintavastus			0,13	0,021200316	0,424006316	-10

Taulukko 6. Seinärakenteen laskennalliset arvot -10 asteen lämpötilassa normaali rakenteella

MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,328549991	19,67
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,004380667	0,131419997	19,54
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	6,73949E-05	0,002021846	19,54
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	7,02029896	12,52
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	7,02029896	5,50
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	7,02029896	-1,52
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	7,02029896	-8,54
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,037608744	1,128262333	-9,67
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,328549991	-10,00

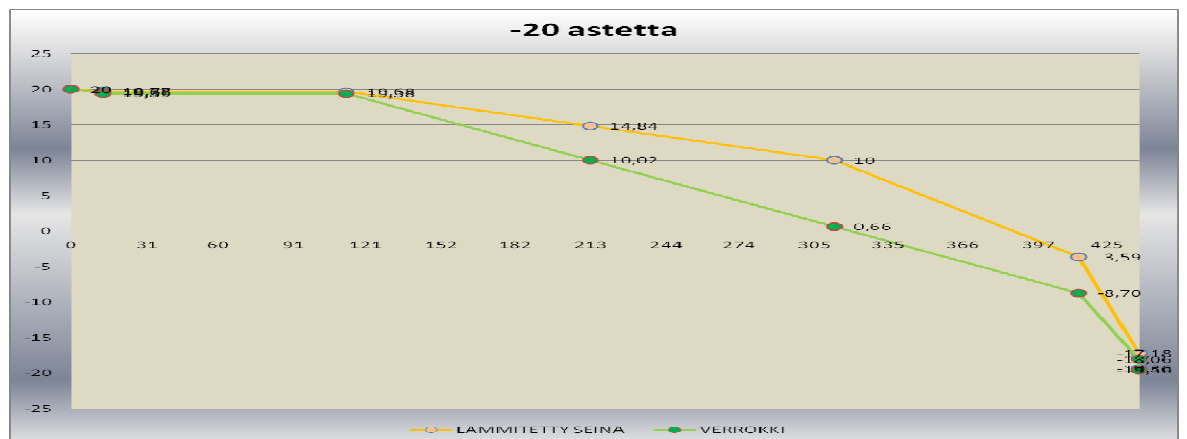


Taulukko 7. Seinärakenteen laskennalliset arvot -20 asteen lämpötilassa lämmityselementillä

		Ulkolämpötila	Sisälämpötila	Vastus		
		-20	20	10		
Vastus	10					
Sisälämpötila	20					
Erotus	10					
Rayleigh luku	4,368186					
Delta T	37,44159					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus	0		0,13	0,022654574	0,226545739	19,77
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,00906183	0,090618296	19,68
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	0,000139413	0,001394128	19,68
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	14,84
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	10
Yhteensä	0,2132		5,738355556	1	10	
Vastus	10					
Ulkolämpötila	-20					
Erotus	30					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	13,58994603	-3,59
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	13,58994603	-17,18
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,072803282	2,184098469	-19,36
Pintavastus			0,13	0,021200316	0,636009474	-20

Taulukko 8. Seinärakenteen laskennalliset arvot -20 asteen lämpötilassa normaali rakenteella

MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,438066655	19,56
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,004380667	0,175226662	19,39
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	6,73949E-05	0,002695795	19,38
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	9,360398614	10,02
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	9,360398614	0,66
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	9,360398614	-8,70
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	9,360398614	-18,06
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,037608744	1,504349777	-19,56
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,438066655	-20,00

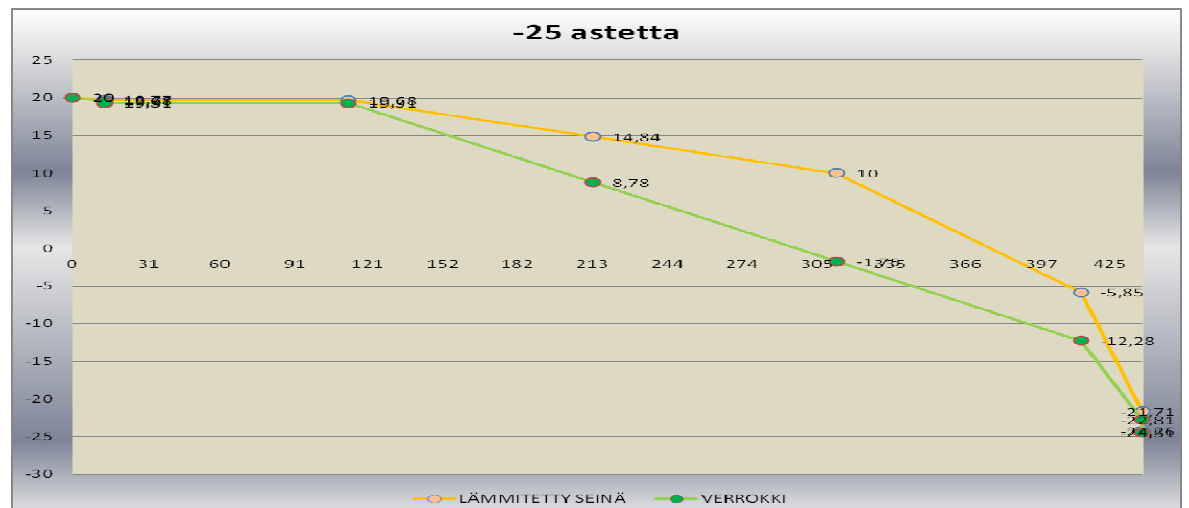


Taulukko 9. Seinärakenteen laskennalliset arvot -25 asteen lämpötilassa lämmityselementillä

		Ulkolämpötila -25	Sisälämpötila 20	Vastus 10		
Vastus	10					
Sisälämpötila	20					
Erotus	10					
Rayleigh luku	4,914209					
Delta T	42,12179					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus	0		0,13	0,022654574	0,226545739	19,77
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,00906183	0,090618296	19,68
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	0,000139413	0,001394128	19,68
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	14,84
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	10
Yhteensä	0,2132		5,738355556	1	10	
Vastus	10					
Ulkolämpötila	-25					
Erotus	35					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	15,85493703	-5,85
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	15,85493703	-21,71
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,072803282	2,54811488	-24,26
Pintavastus			0,13	0,021200316	0,742011053	-25

Taulukko 10. Seinärakenteen laskennalliset arvot -25 asteen lämpötilassa normaali rakenteella

MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,492824987	19,51
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,004380667	0,197129995	19,31
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	6,73949E-05	0,003032769	19,31
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	10,53044844	8,78
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	10,53044844	-1,75
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	10,53044844	-12,28
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	10,53044844	-22,81
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,037608744	1,692393499	-24,51
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,492824987	-25,00

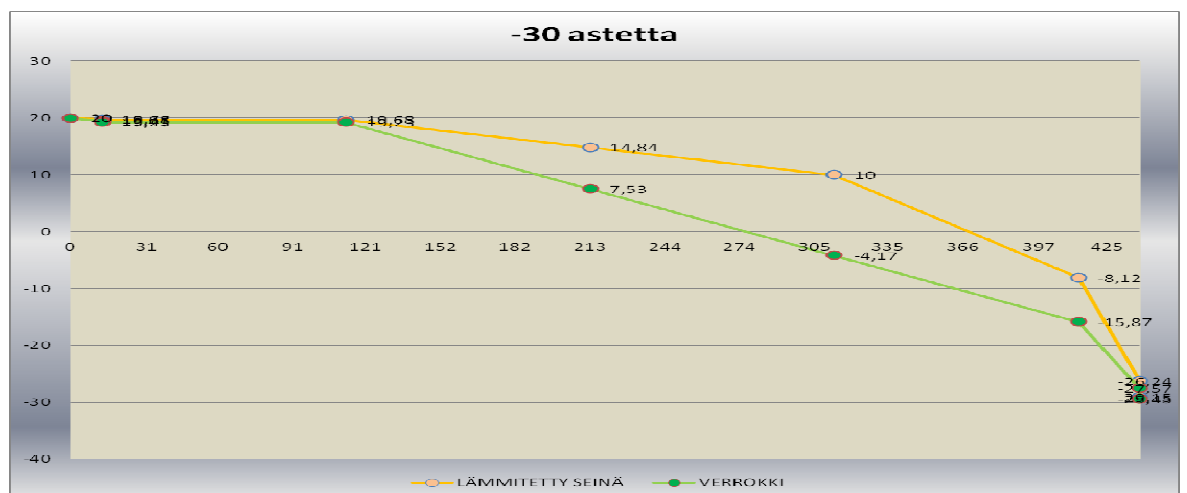


Taulukko 11. Seinärakenteen laskennalliset arvot -30 asteen lämpötilassa lämmityselementillä

		Ulkolämpötila	Sisälämpötila	Vastus		
		-30	20	10		
Vastus	10					
Sisälämpötila	20					
Erotus	10					
Rayleigh luku	5,460233					
Delta T	46,80199					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus	0		0,13	0,022654574	0,226545739	19,77
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,00906183	0,090618296	19,68
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	0,000139413	0,001394128	19,68
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	14,84
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	10
Yhteensä	0,2132		5,738355556	1	10	
Vastus	10					
Ulkolämpötila	-30					
Erotus	40					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	18,11992804	-8,12
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	18,11992804	-26,24
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,072803282	2,912131292	-29,15
Pintavastus			0,13	0,021200316	0,848012632	-30

Taulukko 12. Seinärakenteen laskennalliset arvot -30 asteen lämpötilassa normaali rakenteella

MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,547583319	19,45
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,004380667	0,219033328	19,23
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	6,73949E-05	0,003369744	19,23
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	11,70049827	7,53
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	11,70049827	-4,17
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	11,70049827	-15,87
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	11,70049827	-27,57
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,037608744	1,880437222	-29,45
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,547583319	-30,00



Taulukko 13. Seinärakenteen laskennalliset arvot -35 asteen lämpötilassa lämmityselementillä

		Ulkolämpötila	Sisälämpötila	Vastus		
		-35	20	10		
Vastus	10					
Sisälämpötila	20					
Erotus	10					
Rayleigh luku	6,006256					
Delta T	51,48219					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus	0		0,13	0,022654574	0,226545739	19,77
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,00906183	0,090618296	19,68
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	0,000139413	0,001394128	19,68
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	14,84
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,484072092	4,840720919	10
Yhteensä	0,2132		5,738355556	1	10	
Vastus	10					
Ulkolämpötila	-35					
Erotus	45					
MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	20,38491904	-10,38
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,452998201	20,38491904	-30,77
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,072803282	3,276147703	-34,05
Pintavastus			0,13	0,021200316	0,954014211	-35

Taulukko 14. Seinärakenteen laskennalliset arvot -35 asteen lämpötilassa normaali rakenteella

MATERIAALI	PAKSUUS	LÄMMÖNJOHTAVUUS	LÄMMÖNVASTUS	R/R _T	LÄMPÖTILAN MUUTOS	LÄMPÖTILA
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,602341651	19,40
Kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,004380667	0,24093666	19,16
Muovi	0,0002	0,25	0,0008	6,73949E-05	0,003706718	19,15
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	12,87054809	6,28
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	12,87054809	-6,59
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	12,87054809	-19,46
Villa	0,1	0,036	2,777777778	0,234009965	12,87054809	-32,33
Puukuitulevy	0,025	0,056	0,446428571	0,037608744	2,068480944	-34,40
Pintavastus			0,13	0,010951666	0,602341651	-35,00

